Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 525-540

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۵۴۰-۵۲۵

بررسی کارایی مصرف نور و شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط کم‌آبیاری

هدایت الله کریم‌زاده سورشجانی[۱]- احمد نظامی[۲*]- محمد کافی[۳]- محمودرضا تدین[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰

چکیده

حدود ۹۰ درصد از مساحت ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که در این مناطق بروز تنش خشکی در دوره رشد گیاهان و از جمله لوبیا امری اجتناب‌ناپذیر است. به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی رژیم آبیاری (سه سطح: تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی پنج ژنوتیپ لوبیا چیتی (صدری، C.O.S.16، KS21193، لاین تیلور و KS21486) بودند. نتایج نشان داد واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر روند تغییرات وزن خشک، وزن شاخساره، وزن برگ، وزن دانه و همچنین شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR) و کارایی مصرف نور (RUE)، تحت تأثیر آبیاری متفاوت بود. بیشترین کارایی مصرف نور از ژنوتیپ KS21486 در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (۳/۲۱ گرم بر مگاژول). کاهش آب مصرفی، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های مورد بررسی را تغییر داد؛ ولی تغییرات در ژنوتیپ‌ها متغیر بود؛ به نحوی که با کاهش میزان آب مصرفی به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های تیلور، صدری و C.O.S.16 نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت و کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21486 نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی کارایی مصرف نور همه ژنوتیپ‌ها، نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت؛ ولی شدت کاهش یکسان نبود، به نحوی که بیشترین و کمترین درصد کاهش کارایی مصرف نور به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های C.O.S.16 و صدری مشاهده شد. در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی، افزایش شاخص رشد محصول در ژنوتیپ C.O.S.16 زودتر و با شتاب بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها بود و از نظر حداکثر این شاخص نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. بیشینه سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی، در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی در ژنوتیپ C.O.S.16 مشاهده شد و در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بیشینه میزان سرعت آسمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی را ژنوتیپ KS21486 داشت. دوام بیوماس، دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد نشان دادند؛ بنابراین شاخص‌های مناسبی جهت تخمین عملکرد دانه در شرایط رطوبتی مختلف هستند.

واژه‌های کلیدی: سرعت آسمیلاسیون خالص، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ

مقدمه

میزان تولید لوبیا خشک (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایران ۲۵۳ هزار تن با متوسط عملکرد ۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2015). همچنین ۱۴/۹ درصد اراضی تحت کشت حبوبات و ۳۷/۶ درصد تولید سالانه حبوبات کشور متعلق به لوبیا می‌باشد (Agricultural statistics, 2013). در این بین لوبیا چیتی یکی از مهم‌ترین انواع لوبیا است که در ایران جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است (Lak *et al.*, 2009). از طرفی حدود ۹۰ درصد از مساحت ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2010) که در این مناطق بروز تنش خشکی در دوره رشد گیاهان و از جمله لوبیا امری اجتناب‌ناپذیر است. در شرایط کنونی محدودیت منابع آب، صرفه‌جویی در این منابع به‌ویژه در بخش کشاورزی، به شدت

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: nezami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i3.53523

ضروری می‌نماید. یکی از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، کم‌آبیاری می‌باشد. کم‌آبیاری که به معنای تأمین آب در مقادیر زیر حد بهینه مورد نیاز گیاه، می‌باشد؛ باعث بروز واکنش‌های متعددی نیز در گیاهان می‌گردد (Wakrim *et al*., 2005). عمدتاً در شرایط کم‌آبیاری رشد گیاه مختل می‌گردد؛ همچنین در این شرایط هدایت روزنه‌ای و رشد برگ کاهش می‌یابد (Thompson *et al*., 1997)؛ ولی اگر بتوان حد بهینه‌ای از کم‌آبیاری و همچنین ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبیاری را پیدا کرد، می‌توان به حفظ منابع آب کمک کرد.

جهت تفسیر اثرات عوامل تولید بر عملکرد نهایی لازم است که روند تجمع ماده خشک در گیاه بررسی شود. تجزیه و تحلیل کمی رشد، روشی مناسب برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف (که گیاه در طول دوره حیات خود با آنها مواجه می‌گردد) می‌باشد. به کمک این روش، شناخت بهتری از چگونگی انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی به اندام‌های مختلف و انباشت آنها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد گیاه به‌دست می‌آید (Ghasemi-Golozani *et al*., 1997; Ghassemi-golozani *et al*., 2009; Koller *et al*., 1980).

تجمع ماده خشک در لوبیا با افزایش شدت تنش رطوبتی، کاهش می‌یابد و تحت چنین شرایطی، بین ماده خشک تولیدی در گیاه و تبخیر و تعرق رابطه خطی وجود دارد (Rabinson, 1983). در بررسی هفت ژنوتیپ لوبیا در شرایط تنش کمبود آب مشخص شد، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و وزن خشک شاخساره در اثر کمبود آب کاهش یافت (Ghanbari *et al*., 2014). در مطالعه‌ای روی سویا در شرایط آبیاری مختلف مشخص شد، کاهش آب مصرفی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و روند افزایش ماده خشک را کاهش داد (Yazdani *et al*., 2007). بررسی ژنوتیپ‌های برنج مشخص کرد، بین سرعت رشد گیاه در حدفاصل بین پنجه‌زنی تا شروع آغازش خوشه، دو هفته قبل از ظهور خوشه تا ظهور کامل خوشه و همچنین دو هفته پس از ظهور خوشه تا رسیدگی، با عملکرد دانه، همبستگی مثبت وجود داشت (Takai *et al*., 2006). در بررسی انجام شده روی کلزا (*Brasica napus* L.) در شرایط تنش رطوبتی مشخص شد، بیشترین میزان شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و تجمع زیست‌توده در شرایط بدون تنش خشکی به‌دست آمد. در این پژوهش بیشترین کاهش شاخص‌های مذکور نسبت به شرایط بدون تنش، در تیمار قطع آبیاری حین گل‌دهی و همچنین قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی مشاهده شد (Tesfamariam *et al*., 2010). مطالعه ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط تیمارهای مختلف قطع آبیاری نشان داد با افزایش مدت زمان قطع آبیاری، کاهش معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی رخ داد. در این پژوهش تیمار آبیاری کامل و آبیاری تا مرحله تکمه‌دهی به‌ترتیب، بیشترین و کمترین میزان تولید ماده خشک را دارا بودند. همچنین مشخص شد با قطع آبیاری، سرعت رشد گیاه به شدت کاهش یافت (Mossavifar *et al*., 2010). با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور و اهمیت لوبیا در تأمین غذای انسان، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر شاخص‌های رشدی ژنوتیپ‌های لوبیا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری بر ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. عامل اصلی رژیم آبیاری در سه سطح (تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی پنج ژنوتیپ لوبیا چیتی (صدری، C.O.S.16، KS21193، لاین تیلور و KS21486) در نظر گرفته شدند. بعد از شخم و دیسک زدن زمین، پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل (دو در هزار) با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع کشت شدند. اندازه هر کرت ۷/۵ متر مربع (۲/۵×۳ متر) بود. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس توصیه کودی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره در سه نوبت (۴۰ کیلوگرم قبل از کاشت، ۳۰ کیلوگرم در زمان باز شدن برگ‌های اولیه (V2) و ۳۰ کیلوگرم در زمان باز شدن سومین برگ سه برگچه‌ای (V4) در اختیار گیاه قرار گرفت.

با نمونه‌برداری از خاک مزرعه (در ۱۰ نقطه تصادفی در مزرعه) و محاسبه رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی ($\theta_{m_{FC}}$) و نقطه پژمردگی دائم ($\theta_{m_{PWP}}$) و اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک (ρ_b) و در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (Z)، میزان آب قابل دسترس (AW) برای گیاه محاسبه شد (Mun˜oz-Perea *et al*., 2007). در واقع با اندازه‌گیری‌های فوق میزان آب قابل دسترس برای گیاه محاسبه شده و با استفاده از روش پنمن-مانتیث برداشت روزانه از این رطوبت قابل استفاده محاسبه شد. پس از کشت، آبیاری برای کلیه تیمارها به‌صورت یکسان و بر مبنای نیاز آبی محاسبه شده به‌وسیله روش پنمن-مانتیث اصلاح شده توسط فائو، صورت گرفت. تیمارهای آبیاری همزمان با شروع مرحله V4 (باز شدن سومین برگ سه برگچه‌ای) اعمال شد و تا پایان فصل رشد ادامه داشت، بدین نحو که میزان آب مورد نیاز گیاه محاسبه (بر اساس ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل دسترس برای گیاه) شد و ۱۰۰٪ میزان محاسبه شده در اختیار تیمار تأمین۱۰۰٪ نیاز آبی، ۸۰٪ و ۶۰٪ میزان محاسبه شده به‌ترتیب در اختیار تیمار تأمین ۸۰٪ و ۶۰٪ نیاز آبی گیاه، قرار گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table1- Physical and chemical properties of soil

مس Cu	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی Organic carbon	pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
$g.kg^{-1}$						٪			
0.88	3.29	8.11	0.55	306	33.2	0.152	1.12	7.71	0.512

ماسه Clay	سیلت Silt	شن Sand	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	رطوبت خاک Soil moisture (%)	
٪			$g.cm^{-3}$	پژمردگی دائم PWP	ظرفیت زراعی FC
34.5	35.5	30.0	1.5	0.13	0.25

جهت اندازه‌گیری آنالیزهای رشد، پس از استقرار کامل گیاه (حدود ۳۰ روز پس از کاشت) با فواصل یک هفته، از هر کرت نمونه‌برداری شد. در هر مرحله چهار بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به بخش‌های، ساقه، برگ و دانه (پس از ورود گیاه به مرحله زایشی) تفکیک شد. سپس سطح برگ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و پس از قراردادن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، وزن هر بخش توزین شد و با استفاده از روابط زیر شاخص‌های سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، شاخص سطح برگ (LAI)، و دوام سطح برگ (LAD) محاسبه گردید.

$$LAI = LA/GA \quad (۱)$$

$$LAD = (T_f - T_p)\frac{LA_f + LA_P}{2} \quad (۲)$$

$$NAR = CGR/LAI \quad (۳)$$

DWf وزن خشک نهایی، DWp وزن خشک در مرحله قبل، LA_f سطح برگ نهایی، LA_P سطح برگ در مرحله قبل، Tf زمان مرحله نهایی، Tp زمان مرحله قبل، GA سطح زمین اشغال شده توسط گیاه، Ln پایه لگاریتم با مبنای طبیعی.

برای محاسبه سرعت رشد گیاه (CGR) از روش مشتق‌گیری از معادله روند تجمع ماده خشک و برای محاسبه سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق معادله سرعت رشد استفاده شد (Gardner *et al*., 1985). همچنین به منظور اندازه‌گیری دوام سطح برگ از معادله ۲ استفاده شد و در نهایت از میانگین کل مراحل اندازه‌گیری شده جهت ترسیم نمودار استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری کارایی استفاده از تشعشع، در فواصل معین، میزان نور بالا و پایین کانوپی توسط دستگاه Sunscan همزمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک اندازه‌گیری شد. از طریق این اندازه‌گیری‌ها مقادیر ضریب خاموشی به‌دست آمد. سپس برای تعیین کارایی مصرف تابش از تمام مراحل اندازه‌گیری ضریب خاموشی میانگین‌گیری شد و از میانگین برای کل فصل رشد استفاده شد. مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک به مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده تعیین شد (Vafabakhsh *et al*., 2009; Goldani *et al*., 2007, 2011). لازم به ذکر است برای تعیین کارایی مصرف نور از مقادیر تشعشع ورودی محاسبه شده از داده‌های هواشناسی استفاده گردید.

(۴)

$$LAI = a + b \times 4(\frac{exp(t-c)}{d})/\left(I + \frac{exp(-t-c)}{d}\right)^2$$

a، b، c و d: ضرایب معادله، t زمان، I مقادیر تشعشع ورودی روزانه.

مقادیر تشعشع ورودی روزانه برای شهرکرد محاسبه شد. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی (تهیه شده از ایستگاه هواشناسی شهرکرد) بر اساس معادله آنگستروم تصحیح شد. مقادیر A و B برای شهرکرد به‌ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۴۲ در نظر گرفته شد (Khalili and Rezaei Sadr, 1997).

$$\frac{I}{I_0} = A + B(\frac{n}{N}) \quad (۵)$$

I_0 میزان تابش ورودی روزانه، I میزان تابش روزانه بالای سایه‌انداز با توجه به ساعات آفتابی، n تعداد ساعات آفتابی در روز، N طول روز.

با داشتن شاخص سطح برگ روزانه (LAI_t) و تشعشع ورودی روزانه (I_0)، مقادیر تشعشع روزانه جذب شده روزانه (I_{abs}) توسط گیاه بر حسب مگاژول در متر مربع در روز برای هر رقم و در هر سطح تنش خشکی با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$I_{abs} = I_0(1 - e^{(-k \times LAI_t)}) \quad (۶)$$

Iabs: مقدار تابش جذب شده، LAIt: شاخص سطح برگ روزانه
K: ضریب خاموشی، e: پایه لگاریتم طبیعی

$$GDD = \Sigma\ [(Tmax + Tmin)/2 - Tb] \quad (۷)$$

Tmax: دمای حداکثر، Tmin: دمای حداقل، Tb: دمای پایه

کارایی مصرف نور به‌عنوان شیب رگرسیون خطی بین ماده خشک تجمعی و میزان نورجذب شده تجمعی به‌دست آمد (Goldani *et al*., 2007, 2011; Vafabakhsh *et al*., 2009). جهت محاسبه درجه روزهای رشد از معادله ۷ استفاده شد. در این بررسی دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد و دماهای بالاتر از ۳۰ و کمتر

از ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰ منظـور گردیـد (Stagnari and Pisante, 2011). در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افـزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

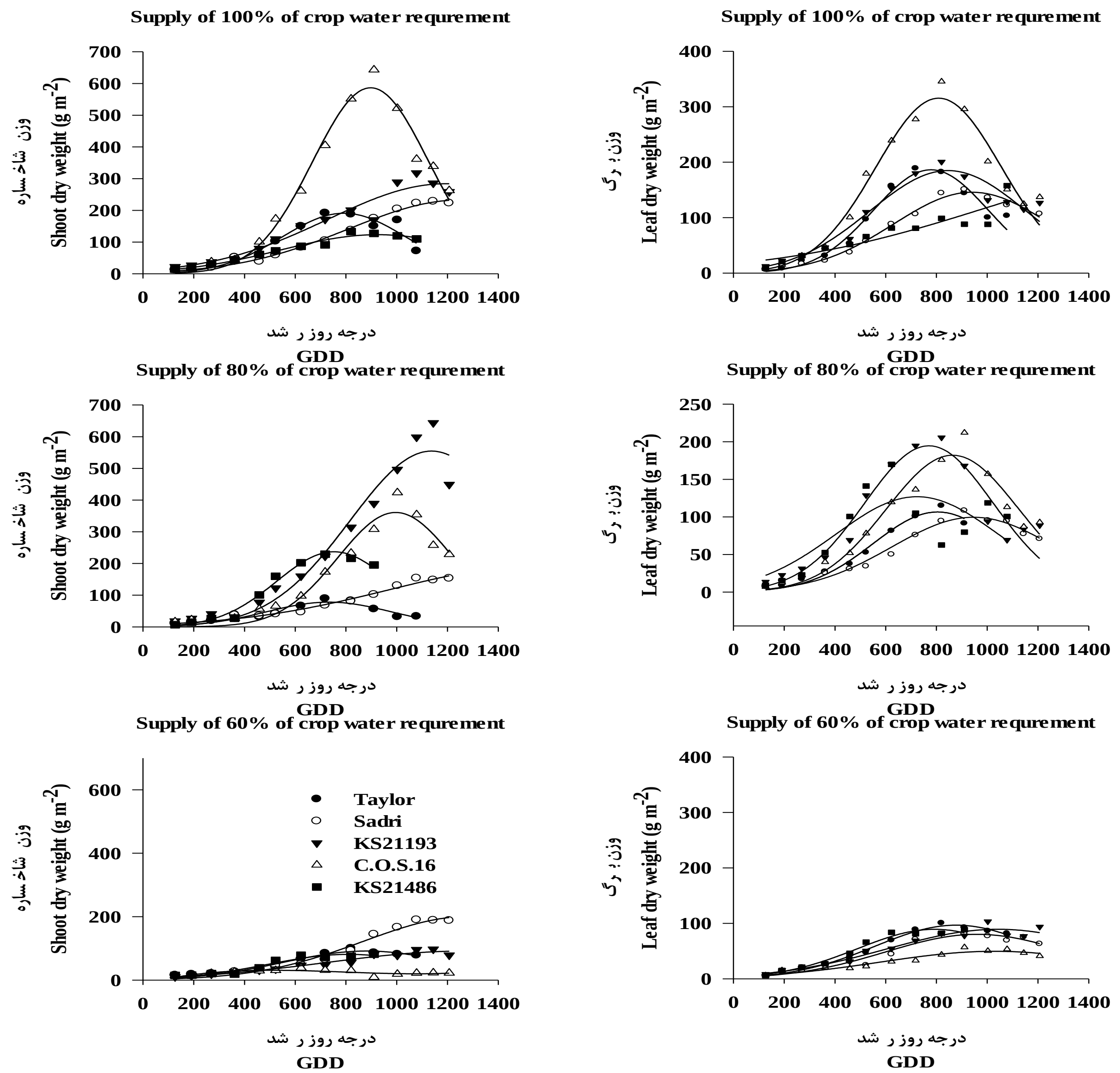
نتایج و بحث

روند تجمع ماده خشک ژنوتیپ‌های لوبیا به‌صـورت سـیگموئیدی بود (شکل ۱) و کاهش میزان آب آبیـاری باعـث تنـزل تجمـع مـاده خشک (هم از نظر میزان ماده خشک و هم از نظر آهنگ تجمع مـاده خشک) شد. با وجود این روند مذکور بسته بـه ژنوتیـپ متفـاوت بـود، به‌نحوی که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ژنوتیپ C.O.S16 از نظر روند تجمع ماده خشک نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشـت و برترین ژنوتیپ از این نظر در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21486 بودند (شکل ۱). روند افزایش وزن خشک شاخساره‌ی ژنوتیپ‌های لوبیا نیز تحت تأثیر رژیم رطوبتی قـرار گرفـت. در شـرایط تـأمین ۱۰۰ درصـد نیـاز آبـی، وزن شاخساره در ژنوتیپ C.O.S16 با شتاب بسیار بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت، این در حالی‌است کـه در شـرایط تـأمین ۸۰ درصد نیـاز آبـی، ژنوتیـپ KS21193 آهنـگ تجمـع وزن شاخسـاره بیشتری داشت. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبـی، تـا اواسـط دوره رشد همه ارقام از این نظر روندی نسبتاً مشابه داشتند، ولی بعـد از آن وزن شاخساره در رقم صدری افزایشی بود، در حالی‌که سایر ژنوتیپ‌ها روند تقریباً ثابتی داشتند (شکل ۱). در اغلب گیاهان زراعی روند تجمع ماده خشک در طـول فصـل رشـد بـه‌صـورت سـیگموئیدی اسـت، بـدین‌صورت که در ابتدای رشد، سرعت تجمع مـاده خشـک، کـم و تدریجی است و با گذشـت زمـان و افـزایش شـاخ و بـرگ، میـزان فتوسنتز افزایش پیدا کرده و شیب تجمع ماده خشک، شـدت بیشتری پیدا می‌کند به‌طوری کـه در نقطـه‌ای از منحنـی بـه حـداکثر خـود می‌رسد و بعد از آن به دلیل افزایش سن و پیری برگ‌ها از مقدار ماده خشک کاسته شـده و در نهایـت متوقـف می‌شود (Gardner *et al*., 1985). کاهش تجمع ماده خشک در شرایط تنش به دلیل کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز و نیز افزایش دمـای برگ می‌باشـد (Iramki *et al*., 2000). اورکـو و نیلسـون (Ourcut and Nilsen, 2009) نیز دلیل کاهش وزن خشـک انـدام هـوایی در شرایط تنش خشکی را کاهش سطح برگ دانستند که باعـث کـاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود.

در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین میزان و همچنـین بیشـترین آهنـگ تجمـع وزن خشـک بـرگ در ژنوتیـپ C.O.S.16 مشاهده شد. بدین‌صورت که از حدود ۴۰۰ درجه روز رشد بـه بعـد بـا شدت افزایش یافت و در ۹۰۰ درجه روز رشد به حداکثر رسید و پـس از آن با شدت افت کرد و در اواخر فصل رشد (حدود ۱۲۰۰ درجـه روز رشد) با سایر ژنوتیپ‌ها مشابه شد. در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی ژنوتیپ‌های C.O.S.16 و KS21193 بیشترین میزان و آهنگ تجمع وزن خشک برگ را داشتند، اما در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیـاز آبـی، همه ژنوتیپ‌ها به‌جز C.O.S.16 (با پایین‌ترین میزان و آهنگ تجمـع وزن خشک برگ) از نظر روند تغییرات وزن خشک برگ، تقریباً مشابه بودند (شکل ۱). در شرایط بهینه آبی، شرایط بـرای تقسـیم سـلولی و توسعه سلول‌های برگ مهیا است، بنابراین گیاه سطح و وزن بـرگ را افزایش داده تا حداکثر جذب نور و تولید ماده خشک را داشته باشد، با سپری شدن عمر گیاه و پیشروی فرآیند پیری، برگ‌ها کم‌کم خشـک شده و ماده خشک برگ در واحد سطح روند کاهشی نشان می‌دهد. در صورت بروز تنش خشکی توسعه سلولی کاهش یافته و سـطح و وزن برگ نیز متعاقب آن کاهش می‌یابد.

در هر سه سطح آبیاری، در مراحل ابتـدایی وزن خشـک دانـه در ژنوتیپ KS21486 با شـتاب بیشـتری نسـبت بـه سـایر ژنوتیـپ‌هـا افزایش داشت، ولی در نهایت بیشترین وزن دانه را در هـر سـه رژیـم آبیاری ژنوتیپ تیلور و پس از آن ژنوتیپ KS21193 داشـت (شـکل ۲). قابل ذکر است ژنوتیپ C.O.S.16 در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، وارد فاز زایشی نشد و دانـه‌ای تولیـد نکـرد، همچنـین ایـن ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط رطوبتی تـأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، دیرتر شروع به تولید دانه و افزایش وزن خشـک دانـه کرد (شکل ۲). همانطور که در شکل ۱ و شکل ۲ مشخص است وزن خشک شاخساره و برگ تا حدود ۶۰۰ الی ۸۰۰ درجه روز رشد افزایش داشته است و پس از آن کاهش یافت، در صورتی‌که وزن دانه در ایـن زمان شروع به افزایش داشته است. به نظر مـی‌رسـد کـه بـا تشـکیل دانه‌ها، مقصد مواد فتوسنتزی به سـمت اجـزا زایشـی منتقـل شـده و تخصیص مواد به دانه‌ها افزایش داشته اسـت. در واقـع افـزایش وزن دانه جبران‌کننده کاهش وزن خشک شاخساره و برگ شده به نحـوی که در نهایت وزن ماده خشک روند افزایشی خود را حفظ می‌کند.

هرچند روند تغییرات شاخص سطح برگ ژنوتیپ‌های لوبیا تحـت تأثیر آبیاری به‌صورت سیگموئیدی بود، ولی کم‌آبیـاری سـرعت رشـد شاخص سطح برگ را در دو تیمـار تـأمین ۸۰ و ۶۰ درصـد نیـاز آبـی نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد آن کاهش داد و در اواخر فصل رشد گیاه، این تفاوت زیادتر شد. حداکثر شاخص سطح بـرگ در شـرایط تـأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیـاز آبـی بـه‌ترتیـب ۳/۱، ۲ و ۱/۵ بـود. تـأثیر کاهش میزان آب آبیاری بر کاهش میزان و آهنـگ افـزایش شـاخص سطح برگ بسته به ژنوتیپ متفاوت بود. در شرایط تأمین ۱۰۰ درصـد نیاز آبی بیشترین میزان و همچنـین بیشـینه آهنـگ تجمـع شـاخص سطح برگ در ژنوتیپ صدری مشاهده شد. قابل ذکـر اسـت ژنوتیـپ صدری دارای تیپ رشدی نامحدود است.

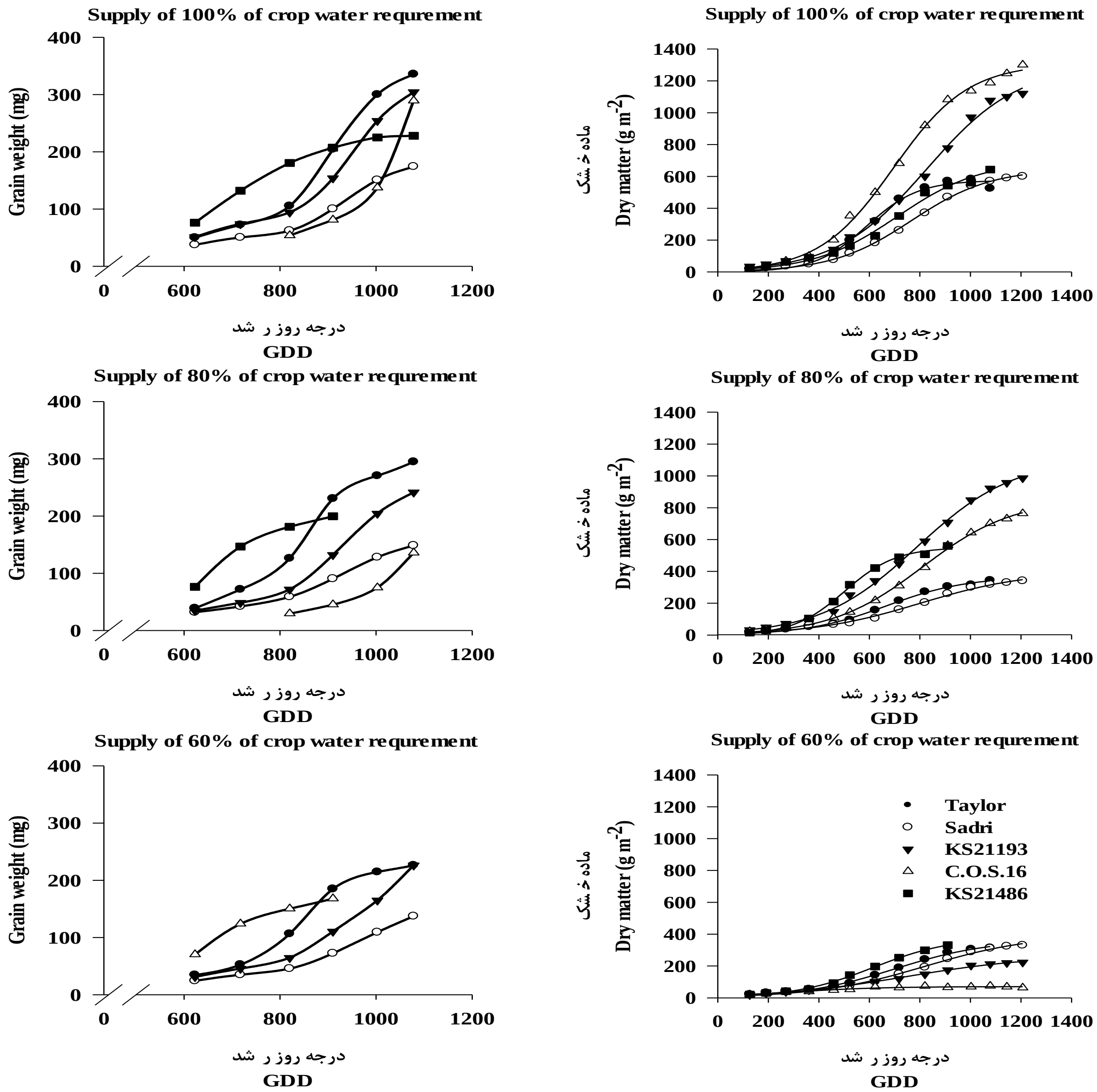


شکل ۱ -روند تغییرات وزن خشک شاخساره و برگ در ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

Figure 1- Effect of Irrigation regimes on shoot and leaf dry weigh of bean genotypes

در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها از نظر روند تغییرات شاخص سطح برگ، نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کمتر بود، اگرچه در این شرایط بیشترین میزان و همچنین بیشترین شتاب افزایش شاخص سطح برگ در ژنوتیپ C.O.S.16 رخ داد. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی بیشترین و کمترین میزان و آهنگ تجمع شاخص یرگ به ترتیب در ژنوتیپ‌های صدری و C.O. S.16 مشاهده شد (شکل ۲). همچنین در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، کمترین کاهش شاخص سطح برگ در ژنوتیپ KS21486 و بیشترین کاهش در ژنوتیپ C.O.S.16 نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مشاهده شد. به نظر می‌رسد ژنوتیپ KS21486 به دلیل زودرس‌تر بودن نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، از نظر شاخص سطح برگ، کمتر تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفته باشد.

خشکی باعث کاهش سطح برگ می‌شود که این وضعیت به دلیل پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید و در نهایت پیری زودرس برگ‌های گیاه می‌باشد (Earl *et al*., 2003). در شرایط تنش شدید سرعت توسعه برگ افت کرده و رشد برگ ممکن است متوقف شود. همچنین، تنش خشکی شاخص سطح برگ را با کاهش آغازش برگ‌های جدید تحت تأثیر قرار می‌دهد (Prasad *et al*., 2008). تداوم تنش خشکی پیری برگ را سرعت می‌بخشد (de Souza *et al*., 1997) و به مرگ بافت برگ و ریزش آن به‌ویژه برگ‌های قدیمی و رسیده منجر می‌شود.



شکل ۲- روند تغییرات وزن خشک دانه و ماده خشک تولیدی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

Figure 2- Effect of Irrigation regimes on grain weight and dry matter of bean genotypes

نتایج نشان داد در همه شرایط آبیاری و همه ژنوتیپ‌ها با افزایش نور جذب شده، ماده خشک تولیدی روند افزایشی نشان می‌دهد (شکل ۳). شیب خطوط نمودار ماده خشک تولیدی در برابر نور جذب شده تجمعی (شکل ۳ و جدول ۲) بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت است. بیشترین کارایی مصرف نور از ژنوتیپ KS21486 در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (۳/۲۱ گرم بر مگاژول). در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین و کمترین کارایی مصرف نور به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های C.O.S.16 (۲/۷۸ گرم بر مگاژول) و صدری (۱/۱۳ گرم بر مگاژول) مشاهده شد. کاهش آب مصرفی، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های مورد بررسی را تغییر داد ولی تغییرات در ژنوتیپ‌ها متغیر بود، به نحوی که با کاهش میزان آب مصرفی به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های تیلور، صدری و C.O.S.16 به‌ترتیب ۳۹/۷، ۱۵/۹ و ۲۵/۵ درصد نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت و این در حالی است که در این شرایط رطوبتی، کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های KS21193 و KS21486 به‌ترتیب ۱۱/۷ و ۵۰/۰ درصد نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت. در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی کارایی مصرف نور همه ژنوتیپ‌ها، نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی کاهش یافت ولی شدت کاهش یکسان نبود، به نحوی که بیشترین و کمترین درصد کاهش

کارایی مصرف نور به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های C.O.S.16 (۹۲/۸٪) و صدری (۳/۵٪) مشاهده شد. همچنین در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، بیشترین کارایی مصرف نور در ژنوتیپ KS21486 (۱/۹۷ گرم بر مگاژول) مشاهده شد.

پژوهشگران گزارش کردند کارایی مصرف نور توسط گیاهان تحت شرایط تنش خشکی معمولاً کاهش می‌یابد، به‌عنوان مثال تنش خشکی باعث کاهش کارایی استفاده از نور توسط بادام زمینی (Ricardo *et al*., 2008) و کلزا (Hamzei and Soltani, 2012) شده است. در واقع هم میزان نور جذب شده و هم ماده خشک تولیدی در اثر تنس خشکی کاهش می‌یابد. در شرایط تنش خشکی، کاهش آب در دسترس باعث کاهش رشد سلولی و به دنبال آن کاهش شاخص سطح برگ می‌گردد، هرچه نسبت ماده خشک تولیدی به نور جذب شده کمتر باشد، کارایی مصرف نور کمتر خواهد شد (Emam and Niknezhad, 2004). آرواس و همکاران (Araus *et al*., 2002) نیز گزارش کردند کارآیی مصرف نور با توزیع بهتر تشعشع فعال فتوسنتزی در کانوپی گیاه تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و تأثیر تنش خشکی بر کاهش عملکرد از طریق کاهش سطح برگ و تسریع پیری برگ‌ها بسیار مهمتر از تأثیرگذاری آن بر فتوسنتز می‌باشد. در آزمایش حاضر نیز همانطور که از شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مشخص است، ژنوتیپ KS21486 در شرایط تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از نظر وزن برگ و شاخساره، ماده خشک و همچنین شاخص سطح برگ برتری داشت. این بدان معنی است که در این ژنوتیپ در شرایط محدودیت آب، رشد و توسعه سطح برگ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها کمتر کاهش یافته است و از این‌رو مقادیر نور بیشتری جذب کرده و ماده خشک بیشتری نیز در ازای نور دریافتی تولید کرده است.

جدول ۲- معادلات رگرسیون خطوط کارایی مصرف نور ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط آبیاری مختلف

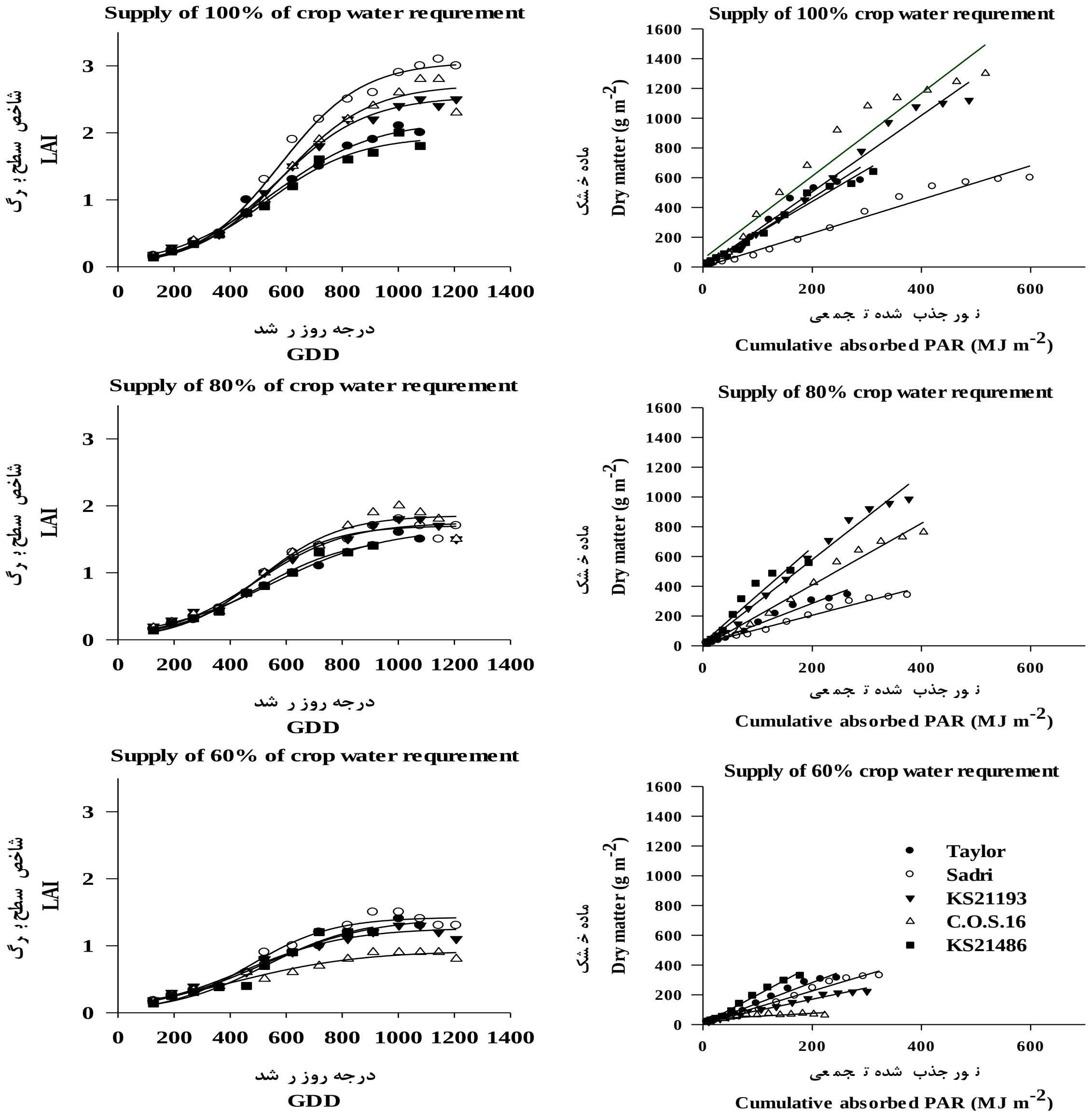
Table 2- Regression equations of RUE in pinto bean genotypes under different irrigation regimes

Supply of 60% of crop water requirement تأمین ٦٠٪ نیاز آبی	Supply of 80% of crop water requirement تأمین ۸۰٪ نیاز آبی	Supply of 100% of crop water requirement تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی	
y = 1.3921x + 3.7825	y = 1.4117x + 2.5325	y = 2.3442x - 5.1813	Taylor
y = 1.0904x + 7.6036	y = 0.9511x + 14.658	y = 1.1335x + 0.6364	Sadri
y = 0.7631x + 17.366	y = 2.8643x + 6.7937	y = 2.5641x - 6.7608	KS21193
y = 0.2032x + 34.802	y = 2.0712x - 5.6147	y = 2.7831x + 54.674	C.O.S.16
y = 1.9728x + 2.6043	y = 3.2144x + 19.227	y = 2.1477x + 10.838	KS21486

با کاهش میزان آب آبیاری، حداکثر دوام سطح برگ کاهش یافت (شکل ۳)، با وجود این کاهش مذکور بسته به ژنوتیپ متفاوت بود، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد کاهش متوسط دوام سطح برگ در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های صدری (۳۷ درصد) و تیلور (۲۲ درصد) مشاهده شد و این در حالی است که در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی ژنوتیپ C.O.S.16 بیشترین درصد کاهش (۶۰ درصد) را به خود اختصاص داد، کمترین درصد کاهش نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نیز در این رژیم آبیاری در ژنوتیپ تیلور (۲۹ درصد) ثبت شد. در واقع کمبود آب باعث تسریع فرآیند پیری برگ‌ها می‌گردد، در این شرایط حداکثر عمر مفید برگ‌ها نسبت به شرایط آبی بهینه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تحقیقات دیگر نیز نشان داد، تنش خشکی باعث تسریع سرعت زوال و پیری برگ‌ها می‌گردد (Husain *et al*., 1990; Nunez-Barrios, 1991). ونشونهورن و همکاران (Vanshonhorn and Vist, 2001) نیز گزارش کردند که وقوع تنش خشکی قبل از مرحله گلدهی و تداوم آن تا مرحله رسیدگی گیاهان لوبیا، LAD نهایی را به میزان ۵۰ درصد در مقایسه با تیمار بدون تنش کاهش می‌دهد.

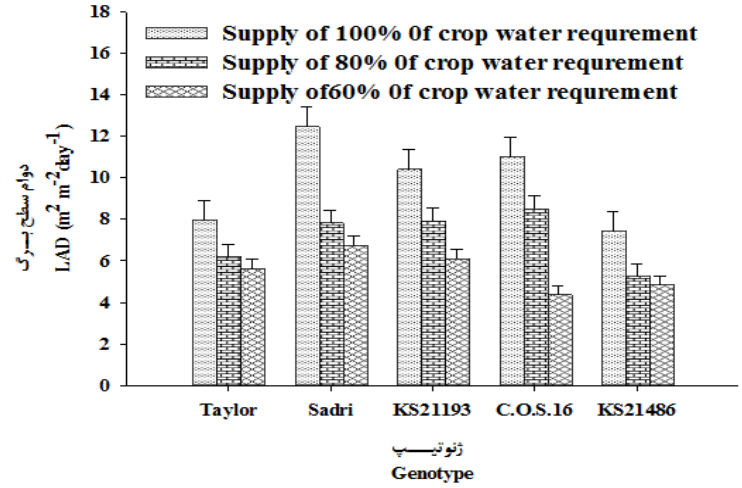
سرعت رشد گیاه (CGR) در ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت (شکل ۵). در شرایط تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی، افزایش شاخص رشد محصول در ژنوتیپ C.O.S.16 زودتر و با شتاب بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها بود و از نظر حداکثر این شاخص نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. در شرایط تأمین ۸۰٪ نیاز آبی، ژنوتیپ KS21486 زودتر شروع به افزایش شاخص سرعت رشد گیاه کرد ولی در نهایت در این رژیم آبیاری حداکثر سرعت رشد گیاه در ژنوتیپ KS21193 ثبت شد که البته تفاوت ناچیزی با ژنوتیپ C.O.S.16 داشت. در شرایط تأمین ۶۰٪ نیاز آبی، کمترین میزان و همچنین شیب افزایش سرعت رشد گیاه در ژنوتیپ C.O.S.16 مشاهده شد. در این رژیم آبیاری حداکثر میزان و شتاب افزایش سرعت رشد گیاه در ژنوتیپ KS21486 مشاهده شد (شکل ۵). نتایج بررسی‌های قاسمی‌گلعذانی و همکاران (Ghasemi-Golozani *et al*., 1997) در ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arientinum*)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al*., 1998) در ذرت (*Zea mays*) و کلارک و سیمپسون (Clarke and Simpson, 1978) در گیاه لوبیا نیز مؤید کاهش سرعت رشد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. کاهش

سرعت رشد گیاه را تا مرز صفر، می‌توان به علت کاهش فتوسنتز خالص و مصرف کربوهیدرات‌ها در مسیر تنفس نسبت داد (Karimi and Azizi, 1994). گزارش‌های گلدانی و رضوانی مقدم (Goldani and Rezani Moghadam, 2007) و قاسمی گلعذانی و مردفر (Ghassemi-golezani and Mardfar, 2008) نیز حاکی از آن است که در شرایط کمبود اب سرعت رشد گیاه به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد. علاوه بر این در شرایط تنش کمبود آب، توقف توسعه سلول و کاهش آسیمیلاسیون کربن (Lizana *et al*., 2006) و در نتیجه تأثیر بر تسهیم کربن (Hsiao and Xu, 2000) نیز باعث کاهش سرعت رشد گیاه می‌گردد. در گیاهانی مانند لوبیا این کاهش مستقیماً بر سرعت ریزش گل که عامل اصلی میزان عملکرد است تأثیر دارد (Ghanbari *et al*., 2014).



شکل ۳- روند تغییرات وزن شاخص سطح برگ و ماده خشک تولیدی در مقابل مقادیر نور دریافتی تجمعی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

Figure 3- Effect of Irrigation regimes leaf area index (LAI) and dry matter versus cumulative absorbed Par of bean genotypes



شکل ٤- متوسط دوام سطح برگ ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری طی فصل رشد (نوار عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشد)

Figure 4- Effect of Irrigation regimes on mean of leaf area duration of bean genotypes

سرعت رشد نسبی در ابتدا اندکی روند افزایشی و پس از آن روند کاهش نشان داد و در اواخر فصل رشد تقریباً متوقف شد (شکل ۵)، از آنجا که بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند کـه از لحـاظ متابولیکی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند (Karimi and Seddique, 1991) ایـن نتیجـه حاصـل شـد. در ابتـدای فصـل رشـد، میـزان RGR بـه علـت نفـوذ نـور بیشـتر، سایه‌انـدازی کمتـر برگ‌ها و فتوسنتز خالص، بالاتر می‌باشد (Amiri deh-Ahmadi *et al*., 2010). سرعت رشـد نسـبی در پایـان دوره رشد به دلیل رسیدگی فیزیولوژیـک دانـه و افـزایش تـنفس دانـه‌هـا همچنین افزایش سن و ریزش بـرگ‌هـا و کـاهش فتوسـنتز جـاری جامعه گیاهی، منفـی شـد (Gordner *et al*., 1985).

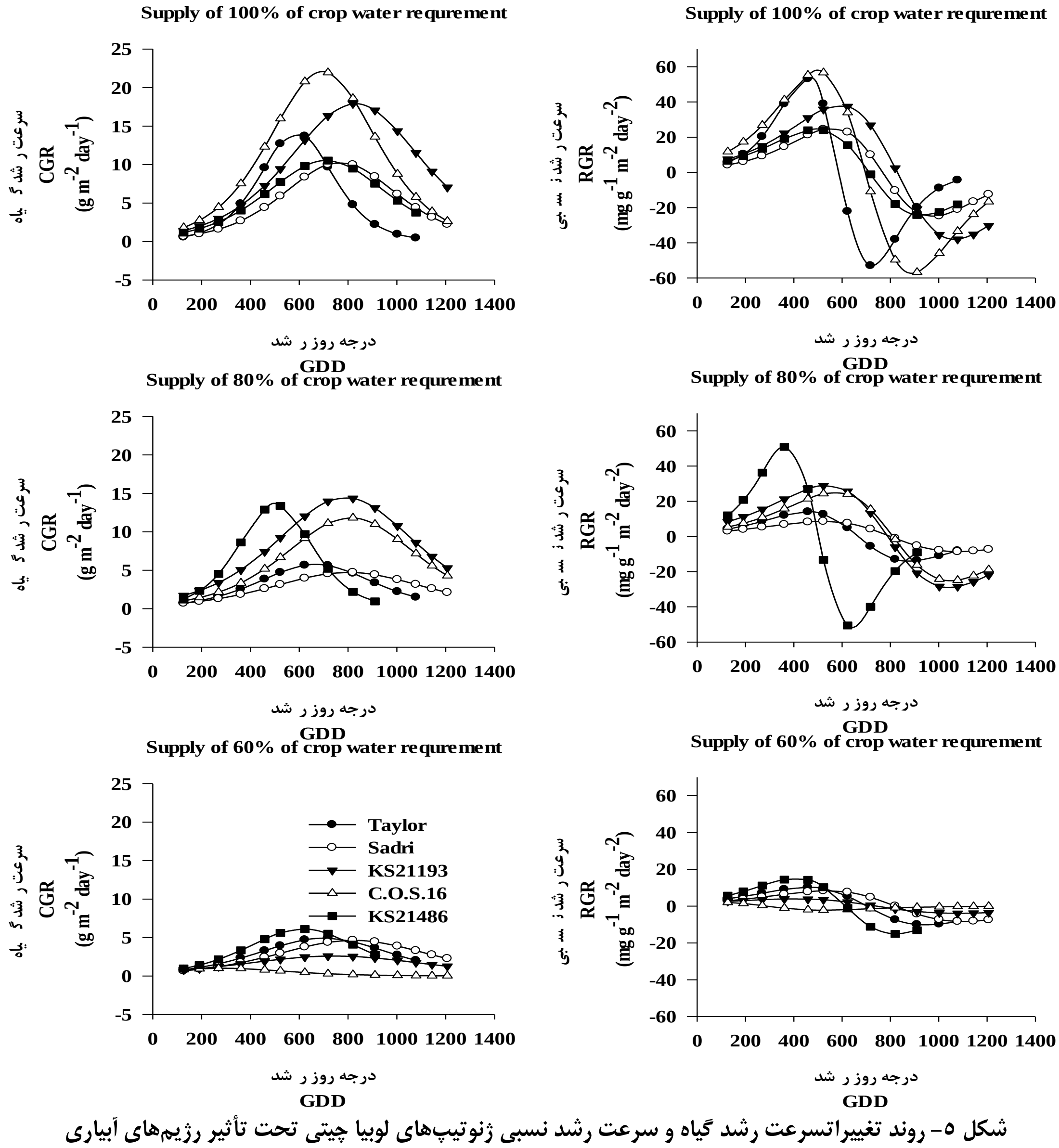
سرعت آسیمیلاسیون خالص در شـرایط تـأمین ۱۰۰ و ۸۰ درصـد نیاز آبی در اوایل روند افزایشی داشت و پس از آن روند کاهش نشـان داد و این در حالی است که در شرایط تأمین ۶۰ درصد نیاز آبـی همـه ژنوتیپ‌ها به‌جز تیلور از نظر سرعت آسیمیلاسیون خالص روند کاهشی داشتند (شکل ۶). سرعت آسیمیلاسیون خـالص، تخمینـی از میـانگین شدت فتوسنتزی برگ‌ها در یـک جامعـه گیـاهی اسـت و زمـانی بـه حداکثر خود می‌رسد که تمام برگ‌ها در معـرض نـور خورشـید باشـند و این شرایط زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه در مراحل اولیـه رشـد خـود بوده و برگ‌ها به اندازه‌ای هسـتند کـه هـیچ‌کـدام در سایه قرار ندارند (Gordner *et al*., 1985). میـزان فتوسنتز خالص بـا گذشـت زمـان ثابت نمی‌ماند و با افزایش سـن گیاه یک افت نزولی در رشد و تکامل نشان می‌دهد و این افـت نسبی در محیط نامناسـب و تـنش خشـکی تسریع مـی‌شـود، لـذا هنگامی که برگ‌های جدید اضافه می‌شوند بـه علت سایه‌انـدازی برگ‌ها روی یکدیگر، وزن خشک بـه‌دسـت آمـده زای واحـد سطح برگ کاهش می‌یابد (Gordner *et al*., 1985).

سرعت آسیمیلاسیون خالص و سرعت رشـد نسـبی ژنوتیـپ‌هـای لوبیا تحت تأثیر آبیـاری قـرار گرفـت. بیشـینه سـرعت آسیمیلاسـیون خالص و سرعت رشـد نسـبی، در شـرایط تـأمین ۱۰۰٪ نیـاز آبـی در ژنوتیپ C.O.S.16 مشاهده شد و در شرایط تـأمین ۸۰ و ۶۰ درصـد نیاز آبی بیشینه میزان سـرعت آسیمیلاسـیون خـالص و سـرعت رشـد نسـبی را ژنوتیـپ KS21486 داشـت (شـکل ۵ و شـکل ۶). نتـایج تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که تـنش خشـکی باعـث کـاهش سرعت آسیمیلاسیون خالص می‌گـردد (Bayuelo-Jimenez *et al*., 2003). عبـدالرحمانی و همکـاران (Abdolrahmani *et al*. 2005) گزارش کردند که هرچند تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار سـرعت رشد نسبی چهار ژنوتیپ گندم شد ولی این کاهش بسـته بـه ژنوتیـپ متفاوت بود. بررسی دو ژنوتیپ لوبیا در شرایط آبیاری متفـاوت نشـان داد، سرعت رشد نسبی در اثر کاهش میزان آب مصرفی کاهش یافت. علاوه‌بر این سرعت آسیمیلاسیون خالص این دو ژنوتیپ در اثر کاهش میزان آب آبیاری به‌طور متفاوتی کـاهش نشـان داد (Boutraa and Sanders, 2001).

بررسی نتایج نشان داد، با افزایش شاخص سطح برگ دوام سطح برگ به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل ۷). در حقیقـت بـا افـزایش سطح برگ، فرآیند پیری گیاه به تأخیر خواهد افتاد و این امر احتمـالاً به‌دلیل افزایش فتوسنتز در واحد سطح زمین می‌باشد. با افزایش سطح برگ، سطح برگ بیشتری در واحد سطح زمـین، مسـئول تولیـد مـواد فتوسنتزی خواهد بود و به طبع در این شرایط فشار تولید کمتـری بـر تک‌برگ‌ها وارد شده و در نتیجه سرعت فرآیند پیری کـاهش خواهـد یافت. با افزایش شاخص سطح برگ تا زمان رسـیدن شـاخص سـطح

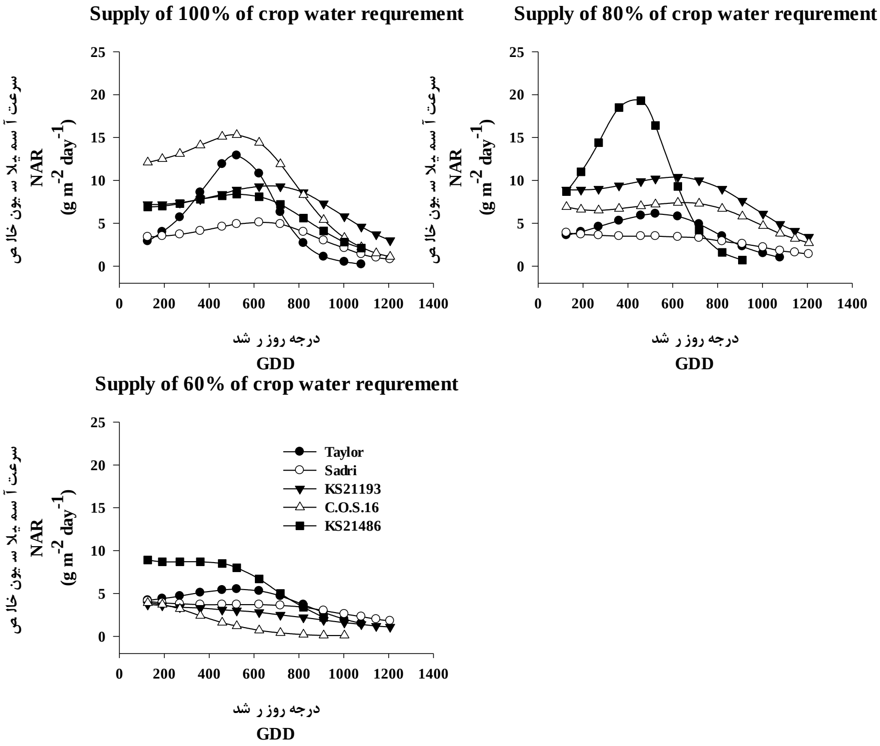
برگ به یک، سرعت رشد گیاه و سرعت آسیمیلاسیون خالص افزایش یافت و از آن به بعد با افزایش شاخص سطح برگ، شاخص‌های مذکور کاهش داشتند (شکل ۵). احتمالاً با افزایش شاخص سطح برگ، سایه‌اندازی برگ‌ها بر همدیگر افزایش یافته و به همین دلیل سرعت رشد گیاه و سرعت آسیمیلاسیون خالص روند کاهشی نشان دادند. گلدانی و همکاران (Goldani *et al*., 2011) گزارش کردند حداکثر سرعت جذب خالص زمانی مشاهده می‌گردد که بیشتر برگ‌ها در معرض نور مستقیم خورشید قرار داشته باشند. علاوه بر در معرض بودن برگ‌ها میزان شاخص سطح برگ نیز مهم است، به‌طوری که با افزایش شاخص سطح برگ در طول فصل رشد، برگ‌های بیشتری به‌طور کامل یا به‌طور نسبی در سایه قرار می گیرند و این امر باعث کاهش سرعت جذب خالص می‌شود.

سرعت رشد نسبی نیز با افزایش شاخص سطح برگ در ابتدا روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی نشان داد (شکل ۵)، همانطور که از مفهوم سرعت رشد نسبی بر می‌آید، این شاخص سرعت رشد را در هر مرحله نسبت به مرحله قبل می‌سنجد، در مطالعه مذکور چنانچه از شکل ۵ مشخص است، سرعت رشد نسبت به شاخص سطح برگ، در هر مرحله نسبت به مرحله قبل روند کاهشی نشان داد. در واقع میزان رشد در هر مرحله متناظر با افزایش شاخص سطح برگ افزایش نیافته است.



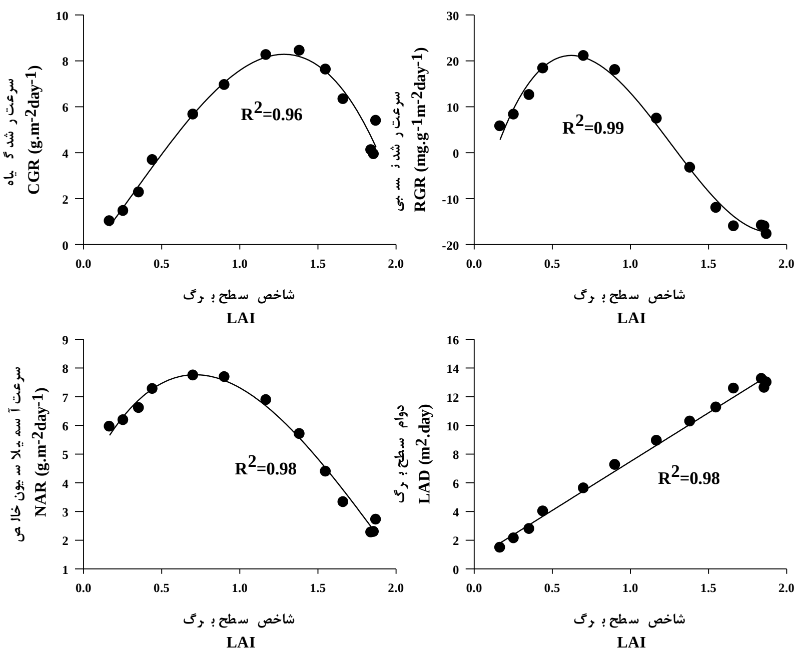
شکل ۵- روند تغییراتسرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

Figure 5- Effect of Irrigation regimes on crop growth rate (CGR) and relative growth rate (RGR) of bean genotypes



شکل ٦- روند تغییرات سرعت آسمیلاسیون خالص ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری

Figure 6- Effect of Irrigation regimes on Net assimilation rate (NAR) of bean genotypes

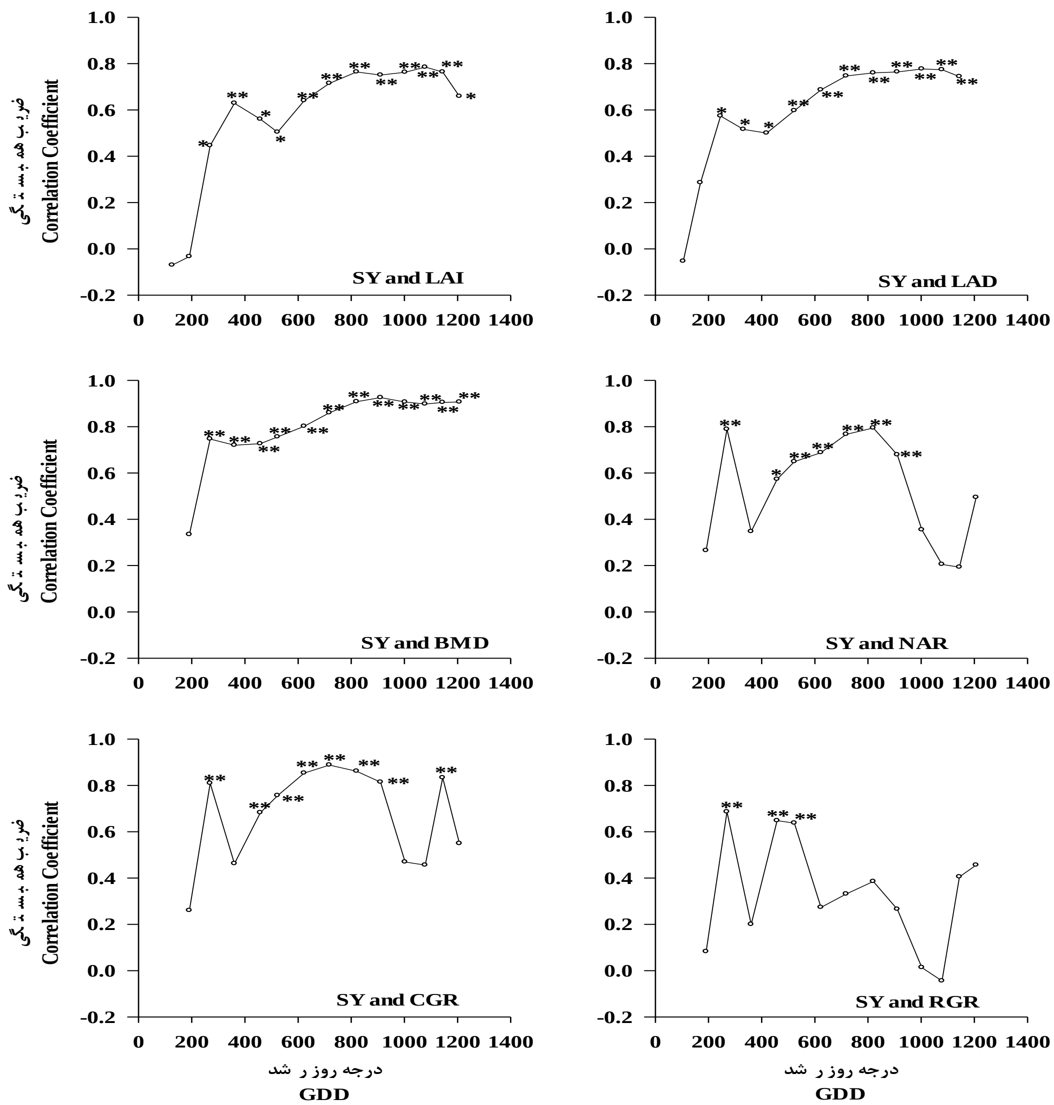


شکل ۷- رابطه بین شاخص سطح برگ با دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR) ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر تیمارهای آبیاری

Figure 7- Relation between LAI with leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) of bean genotypes

نتیجه‌گیری

در بررسی ضرایب همبستگی بین شاخص‌های رشدی در مراحل مختلف رشد گیاه لوبیا با عملکرد مشاهده شد که در اکثر مراحل دوام بیوماس، دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بیشترین همبستگی را با عملکرد داشتند (شکل ۸). این نتایج همچنین نشان داد که در اوایل رشد گیاه لوبیا، همبستگی شاخص‌های رشدی با عملکرد دانه کم است، ولی با پیشرفت مراحل رشدی و بزرگ شدن گیاه میزان همبستگی صفات با عملکرد افزایش داشت. بررسی ضرایب همبستگی مؤید آن است که با افزایش شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و دوام بیوماس، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد و برای حصول بیشتر عملکرد دانه، باید سطح فتوسنتزکننده گیاه (برگ‌ها) و تداوم سبزمانی سطح برگ را افزایش داد تا مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و به دانه‌ها انتقال یابد.



شکل ۸- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD)، دوام زیست‌توده (BMD)، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، سرعت رشد گیاه (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) با عملکرد دانه (SY). *: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

Figure 8- Pearson correlation coefficient between Leaf area index (LAI), Leaf area duration (LAD), Biomass duration (BMD), Net assimilation rate (NAR), Crop growth rate (CGR) and Relative growth rate (RGR) with seed yield (SY). *, ** significant at 0.05 and 0.01 level respectively

سپاسگزاری

از مرکز تحقیقات لوبیا خمین جهت تأمین بذر ژنوتیپ‌هـای مـورد بررسی، از اداره کل هواشناسی استان چهارمحـال و بختیـاری جهـت تـأمین داده‌هـای هواشناسـی، از گـروه زراعـت دانشـکده کشـاورزی دانشگاه شهرکرد و همچنین معاونـت پژوهشـی دانشـکده کشـاورزی دانشگاه فردوسی مشهد جهت تأمین امکانات لازم جهـت انجـام ایـن آزمایش قدردانی می‌گردد.

References

1. Abdolrahmani, B., Ghasemi-Golozani, K., and Esfahani, M. 2005. The effect of supplemental irrigation on growth parameters, yield and yield components of wheat. Agricultural Science 15 (1): 51-68.
2. Agricultural Statistics. 2013. Tehran: Ministry of Agriculture Press. 167 Pages.
3. Amiri Deh Ahmadi, S. R., Parsa, M., Nezami, A., and Ganjeali, A. 2010. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. Iranian Journal of Pulses Research 1 (2): 69-84. (in Persian with English abstract).
4. Bayuelo-Jimenez, J., Debouck, S., and Lynch, D. G. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crops Research 80 (3): 207-222.
5. Boutraa, T., and Sanders, F. E. 2001. Effects of Interactions of Moisture Regime and Nutrient Addition on Nodulation and Carbon Partitioning in Two Cultivars of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agronomy & Crop Science 186: 229-237.
6. Clarke, J. M., and Simpson, G. M. 1978. Changing irradiance in *Phaseolus vulgaris* L. Journal of Experimental Botany 45: 931-936.
7. Earl, H. J., and Davis, R. F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.
8. Emam, Y., and Niknezhad, M. 2004. An introduction to crop physiology. Shiraz: Shiraz University Press.
9. FAO. 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nation Quaterlybulletion of Statistucs. Rome, Italy: FAO.
10. FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nation Quaterlybulletion of Statistucs. Rome, Italy: FAO.
11. Ghanbari, A., Mousavi, S. H., Keshavarz, S., and Abbasian, A. 2014. Assessment of Variation in Physiological Growth Indices in Common Bean Genotypes under Water Deficit Condition. Seed and Plant production Journal 30 (2): 199-222. (in Persian with English abstract).
12. Ghasemi-Golozani, K., Mohamadi, S., Rahimzadeh Khoyi, F., and Moghadam, M. 1997. The quantitative relationship between density and yield of three chickpea cultivars in different planting dates. Agricultural Science 7: 59-73.
13. Ghassemi-Golezani, K., and Mardfar, R. A. 2008. Effects of Limitted Irrigation on Growth and Grain Yield of Common Bean. Journal of Plant Science 3 (3): 230-235.
14. Ghassemi-Golozani, K., Ghanehpoor, S., and DabbaghMohammadi-Nasab, A. 2009. Effect of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. Journal of Food, Agriculture & Environment 7: 442-447.
15. Goldani, M., and Rezani Moghadam, P. 2007. The effect of different irrigation regimes and planting dates on phenology and growth indices of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Mashhad. Journal of Agricultural Science and Natural Resource 14: 229-242.
16. Goldani, M., Rezani Moghadam, P., Nassiri Mahalati, M., and Kafi, M. 2011. Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea mays* L.) on response to different densities. Journal of Plant Production 18: 1-28.
17. Gordner, F. P., Pearce, R. B., and Mitchell, R. L. 1985. Physiology of Crop plants. Iowa: Iowa State University Press.
18. Hamzei, J., and Soltani, J. 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. Agriculture, Ecosystems and Environment 155: 153-160.
19. Hsiao, T. C., and Xu, L. K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. Journal of Experimental Botany 51: 1595-1616.
20. Husain, M. M., Reid, J. B., Othman, H., and Galiagher, J. N. 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. Field Crops Research 23: 1-17.
21. Iramki, S. D., Haman, D. Z., and Bastug, R. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. Agronomy Journal 92: 1221-1234.

22. Karimi, M., and Azizi, M. 1994. Growth analysis of crop plants. Mashhad: Mashhad university jihad.
23. Khalili, A., and Rezaei Sadr, H. 1997. Estimation of global solar radiation over Iran based on the climatical data. Geographical Research 46: 15-35. (in Persian with English abstract).
24. Koller, H. R., Nyguist, W. E., and Chrouch, I. S. 1980. Growth analysis of the soybean community. Crop Science 20: 407-413.
25. Lak, M. R., Ghanbari, A. A., Dori, H. R., and Ghadiri, A. 2009. Effect of planting Date on seed yield and fusarium root rot disease severity in pinto bean in khomein. Seed and Plant Production Journal 25 (2): 275-286.
26. Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P., and Pinto, M. 2006. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effect of drought on yield and photosynthesis. Journal of Experimental Botany 57: 685-697.
27. Mossavifar, E., Behdani M. A., Jamialahmadi, M., Hosseini bejed, M. S. 2010. Effect of deficit irrigation on safflower in Birjand condition. Agroecology 2 (4): 627-639.
28. Mun˜oz-Perea, C. G., Allen, R. G., Westermann, D. T., and Wright, J. L. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. Euphytica 155: 393-402.
29. Nunez-Barrios, A. 1991. Effects of soil water deficits on the growth and development of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different stages of growth. Dissertation Abstracts International B, Science and Engineering. Field Crops Abstracts 51: 45-56.
30. Ourcut, D., and Nilsen, E. T. 2009. Salinity and drought stress. In Physiology of Plants under Stress, 177-235.
31. Ricardo, J. H., Dardanelli, J. L., Otegui, M. E., and Collino, D. J. 2008. Seed yield determination of peanut crops under water deficit: Soil strength effects on pod set, the source–sink ratio and radiation use efficiency. Field Crops Research 109: 24-33.
32. Robinson, R. G. 1983. Yield and composition of field bean and adzuki bean in response to irrigation, compost, and nitrogen. Agronomy Journal 75: 31-35.
33. Takai, T., Matsuura, S., Nisho, T., Ohsumi, A., Shiraiwa, T., and Horie, T. 2006. Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. Field crops research 96: 328-335.
34. Tavakoli, H., Karimi, M., and Moosavi, F. 1998. Effects of different irrigation regimes on vegetative and reproductive growth of corn. Iranian Journal of Agricultural Science 15 (1): 51-67.
35. Tesfamariam, E. H., Annandale, J. H., and Steyn, J. M. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. South African Agronomy Journal 102 (2): 658-666.
36. Thompson, D. S., Wilkinson, S., Bacon, M. A., and Davies, W. J., 1997. Multiple signals and mechanisms that regulate leaf growth and stomatal behaviour during water deficit. Physiologia Plantarum 100: 303-313.
37. Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Azizi, M. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops research 7 (1): 285-292.
38. Vanshonhorn, A., and Vist, A. 2001. Bean cultivation and breeding. Mashhad: Mashhad university jihad.
39. Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B., and Serraj, R. 2005. omparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 275-287.
40. Yazdani, F., Alahdadi, I., and Akbari, G. A. 2007. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. Pakistan journal of biological science 10 (23): 4190-4196.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 525-540

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۵۴۰-۵۲۵

Evaluation of the RUE and Growth Indices of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes Deficit Irrigation Condition

H. Karimzadeh Soureshjani[1]- A. Nezami[2*]- M. Kafi[2]- M. R. Tadayon[3]
Received: 01-02-2016
Accepted: 19-04-2017

Introduction

Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important bean types in Iran. Cultivation area of pinto bean is about 50% of the total bean cultivation area and more than half of the grain bean production belongs to this type of bean. Drought is the most important environmental stresses that affected agricultural production in arid and semiarid areas and reduced crop productions. About 90 percent of Iran located in arid and semi-arid areas where water stress in the plants is inevitable. In addition, 60% of bean cultivation area in the world are faced with drought. Quantitative analysis of crops growth under water limitation condition is a good way to identify genotypes differences in response to drought stress.

Materials and Methods

In order to study the impact of deficit irrigation on pinto bean genotypes, an experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design, at Shahrekord University, during 2013. Main plot was irrigation regime (supply of 100, 80 and 60 percent of crop water requirement) and sub plot was pinto bean genotype (Taylor, Sadri, C.O.S.16, KS21193 (Koosha193) and KS21486). Seeds were disinfected with benomyl fungicide before planting. Planting was conducted in 30 plant m^{-2} density. Crop water requirement was calculated by FAO Penman-Monteith equation. Irrigation regimes were applied at V4 stage (4th three foliate leaf has unfolded) and continued until the end of the growing season.

Results and Discussion

Results showed that there is genotypic variation in stem, leaf and seed dry weight, leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) and radiation use efficiency (RUE) in response to deficit irrigation. The dry matter accumulation of bean genotypes was sigmoidal shape and reduction in water use causes degradation of dry matter both in terms of the amount of dry matter and dry matter accumulation rate.

The highest RUE was recorded in KS21486 in supply of 80 percent of crop water requirement (3.21 g MJ^{-1}). RUE changes to the reduction of irrigated water vary from genotype to genotype. So that, RUE of Taylor, Sadri and C.O.S.16 reduced and RUE of KS21193 and KS21486 increased in supply of 80 percent of crop water requirement condition. Moreover, RUE of all genotypes reduced in supply of 60 percent of crop water requirement condition. In fact, the amount of light absorption and biomass production reduced due to deficit irrigation. Under drought conditions, reduction in water availability decreases cell growth and subsequent reductions in leaf area index. Thus ratio of dry matter produced by the absorbed light is low and radiation use efficiency will be less. Drought stress reduced total dry weight. KS21486 had more rapidly seed dry weight enhancement rather than the other genotypes in the early stages, however Taylor and KS21193 had highest seed dry weight in all three levels of irrigation. Deficit irrigation decreased leaf area index in supply of 60 and 80 percent of crop water requirement condition compared to supply of 100% of crop water requirement condition. Maximum leaf area index in supply of 100, 80 and 60 percent of crop water requirement conditions were 3.1, 2 and 1.5, respectively. Average reduction of LAD in supply of 80 and 60 percent of plant water requirement conditions were 27 and 42 percent respectively. C.O.S.16 showed the highest CGR and maximum NAR and RGR, in supply of 100 percent of plant water requirement. In supply of 80% and 60% of plant water requirement conditions, KS21486 had the maximum NAR and RGR.

1- Crop physiology student, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor of Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad
3- Associate Professor of Crop physiology, Shahrekord University
(*- Corresponding Author Email: nezami@um.ac.ir)

Conclusions

Biomass duration (BMD), LAD, LAI showed the highest correlation with grain yield, thus they are appropriate indicators to estimate grain yield under different moisture conditions. With the increase in leaf area index, leaf area duration and biomass duration, seed yield increased. To obtain more seed yield, the area of photosynthetic levels (leaves) and stay green must be increased to produce more photosynthetic products and allocated to seeds.

Keywords: Crop Growth Rate, Leaf Area Index, Net Assimilation Rate